건물외피 접합부의 단열기준 설정

건물외피의 단열기준 설정을 위한 기초연구로 열류유동량을 계산하기 위한 모서리 열손실계수를 산출하고 이의 특성과 영향정도를 살펴본다.

박 승 익
우송대학교 건축토목환경공학부(paseik@lion.woosong.ac.kr)

그 동안 건물외피의 단열을 통한 단계별 법적 조치로는 제 1단계로 건물 외피요소에 대한 부위별 열관류율 값을 규정하고, 제 2단계로 건물의 열 성능을 고려한 총체적 외피기준을 규정함으로서 창 면적비 및 각 외피요소의 열관류율 등을 용이하게 조정할 수 있게 하였으며 제 3단계에서는 보다 자유로운 설계를 허용하기 위하여 각 부위별 기준의 요구 성능치보다 완화된 외피설계를 하더라도 고효율 설비시스템을 사용하거나 태양열 설비 등의 채택에 의해 건물 전체적인 성능 면에서 불리하지 않다면 설계를 인정하는 성능기준(performance standard)을 채택하고 있다.

그러나 이와 같은 과정에서 건물외피 구조체의 모서리 부분인 벽체와 천장, 벽체와 벽체, 벽체와 바닥에 대한 설계기준이 마련되지 못하여 열손실 뿐만 아니라 결로 등으로 인한 실내 환경적인 문제에 합리적 대처를 하지 못하고 있는 상황이다.

그러므로 건물외피 구조체의 모서리에 대한 열유동을 분석하여 이를 토대로 단열방안과 단열설계 기준안을 마련하는 것이 필요하지만 건물외피 모서리 부위의 열유동은 이론적 해석이 곤란하기 때문에 국내에서는 이를 주로 결로 문제로만 인식 할 뿐, 그것이 구체적으로 건물의 에너지 부하에 어느 정도 영향을 미치는지에 대해서는 연구를 하지 않았기 때문에 이에 대한 인식은 물론 단열설계기준도 마련되고 있지 않은 것으로 생각된다.

<표 1> 실내습도조건별 온도계수(f)의 범위

실내습도조건		f
습도가 낮은 방	W/n≤2.5[g/m³]	f > 0.25
습도가 중간정도인 방	2.5<W/n≤5.0[g/m³]	f > 0.52
습도가 높은 방	5.0<W/n≤7.5[g/m³]	f > 0.73

W : 실내의 수증기량[g/n]　　n : 시간당 환기량[m³/h]

이미 선진국에서는 구조체의 모서리 부분에 대한 열부하 계산방법과 기준을 다음과 같이 마련하여 결로방지 및 정확한 부하량을 계산하고 있다.

열교에 대한 유럽기준

오스트리아

Austrian Standard B 8110-2에서는 표면결로를 방지하기 위해 온도계수 f는 0.69이상이어야 한다. 여기서 온도계수 f는 다음과 같이 정의한다.

$$f=(T_s-T_e)\ /\ (T_i-T_e)$$

여기서 T_s, T_e, T_i는 각각실내표면온도, 실외온도, 실내온도이다.

프랑스

모든 외피 모서리의 전형적인 건물상세에 대한 열손실량을 Th-K 규정에 의해 산출하도록 하며, 결로 판정법은 **표 1**과 같다.

스위스

벽체모서리의 열교영향은 해당부위의 외부치수를 계산에 적용하도록 하여 발코니와 같이 열손실이 상당한 열교부위는 스위스 건축법(SIA) D 078 또는 상세계산법을 이용하도록 되어 있으며 결로방지를 위해 외기온도(-5 ~ 25 ℃)에 따라 온도계수 f값은 0.57 ~ 0.761 이내에 있도록 해야 한다.

영국

열교경로의 열저항이 0.45 $m^2 \cdot K/W$보다 크면, 열

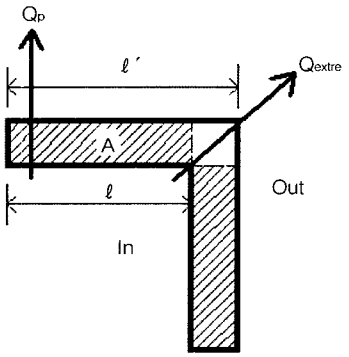
교부위를 통한 열손실을 무시하지만, 이보다 작으면 열교손실이 과대한 것으로 판정하며 열손실계수가 0.3 W/m · K정도로 하여야 한다. 또한 열저항이 0.2 m^2 · K/W이상이면 표면결로 가능성이 높은 것으로 판정한다.

모서리 열손실계수의 개념

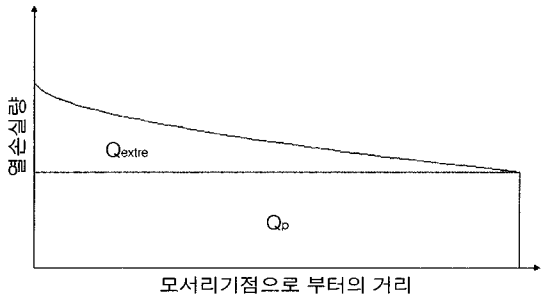
그림 1과 같은 모서리에서의 손실열량은 **그림** 2와 같이 내외표면적이 동일한 벽면을 통한 열량 Qp와 모서리 영향으로 인한 부가열량 Qextra의 합으로 표시할 수 있다.

Qextra는 ASHRAE와 Th-K77에서와 같이 다음 식으로 표현한다.

$$Q_{corner}=Q_p+Q_{extra}$$
$$=K \cdot A \cdot \Delta T+k \cdot L \cdot \Delta T$$
$$=K \cdot A \cdot \Delta T+C \cdot (K \cdot d) \cdot L \cdot \Delta T$$



[그림 1] 모서리 열손실의 개념도



[그림 2] 모서리 내표면에서 모서리기점 으로부터의 거리

여기서,

Q_{corner} : 모서리에서의 열류량[W]

Q_p : 모서리가 없는 평판벽에서의 열류량[W]

Q_{extra} : 모서리영향으로 인한 부가열량[W]

K : 벽체의 열관류율[W/m^2℃]

A : 실내 · 외 표면적이 동일한 벽면적[m^2]

ΔT : 실내 · 외 온도차[℃]

k : C · (K · d) 모서리 열손실계수[W/m^2℃]

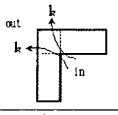
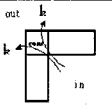
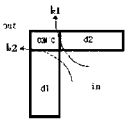
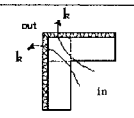
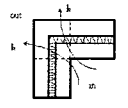
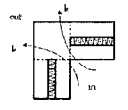
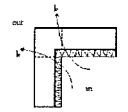
L : 2면의 벽이 만나는 모서리 길이[m]

C : 모서리계수

d : 벽 두께[m](단열재 두께는 제외됨)

그림 1과 같이 모서리를 포함하는 벽체에서는 내벽길이(ℓ)와 외벽길이(ℓ′)가 다르기 때문에 내벽과 외벽면적이 동일한 부분의 면적을 A로 하고 모서리

<표 2> 모서리 구성 형태에 따른 모서리 열손실계수, k

구성 형태	그 림	모서리 열손실계수 k[W/m℃]
1. 단일재료 벽체 (무단열, 외향모서리)		k = 0.26 K×d (벽체의 열전도율≤0.2) k = 0.22 K×d (벽체의 열전도율>0.2)
2. 콘크리트기둥 (무단열, 외향모서리)		k = 0.76 K×d (벽체의 열전도율≤0.2) k = 0.29 K×d (벽체의 열전도율>0.2)
3. 콘크리트기둥 (벽두께 다름, 무단열, 외향모서리)		k1 = 0.99 K×d1, k2 = 0.78 K×d2 (벽체의 열전도율≤0.2) k1 = 0.33 K×d1, k2 = 0.21 K×d2 (벽체의 열전도율>0.2) (단. d1 = d2 + 100)
4. 외단열 벽체 (외향모서리)		k = 0.71 K×d
5. 중단열 벽체 (외향모서리, 연속 단열)		k = 0.36 K×d (벽체의 열전도율≤0.2) k = 0.46 K×d (벽체의 열전도율>0.2)
6. 중단열 벽체 (외향모서리, 불연속 단열)		k = 0.61 K×d (벽체의 열전도율≤0.2) k = 2.08 K×d (벽체의 열전도율>0.2)
7. 내단열 벽체 (외향모서리)		k = 0.21 K×d (벽체의 열전도율≤0.2) k = 0.12 K×d (벽체의 열전도율>0.2)

부분은 별도로 구분하여 전달열량을 계산한다.

모서리를 통한 전달열량 Qextra는 x-y평면일 경우 z방향으로의 모서리의 길이(L)와 실내 · 외 온도차 ⊿T에 비례하므로 Qp의 [W/m²℃]대신 모서리 열손실계수 k[W/m℃]를, A[m²]대신 모서리길이 L[m]로 대치할 수 있다.

모서리 열손실계수 k는 모서리의 구성형태에 따라 다르기 때문에 이를 모서리에 접합되는 벽체의 열관류율 K값과 벽두께 d의 함수로 다음과 같이 표현한다.

$$k \propto (K \cdot d)$$
$$k = C \cdot (K \cdot d)$$

모서리 열손실계수의 산출

정상상태에서 2차원 모서리의 구성형태에 따른 열류량을 수치해석적으로 계산하여 모서리 열손실계수 k를 계산한 결과는 **표 2**와 같다.

모서리에서의 열손실 특성

모서리에서 단열이 끊어지지 않는 조건에서는 모서리의 손실열량이 개략 벽두께의 0.25 ~ 2.2배에 해당되는 등가길이로 나타나기 때문에 통상적으로 모서리의 손실열량을 별도로 계산하지 않고 이를 벽두께 정도의 길이로 간주하여 계산하는 방법이 문제는 없다.

그러나 모서리에서 단열이 끊어지는 경우의 모서리의 손실열량은 단열이 끊어지지 않은 경우에 비하여 4 ~ 12배정도로 크게 나타나기 때문에 이를 벽두께 정도로 간주한 통상적인 부하계산법은 큰 오차가 발생한다.

모서리 열손실계수는 단열재의 위치가 내단열에서 외단열로 이동할수록 커지며 여러 요인 중 이 계수의 값에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 단열재의 위치이며 단열재의 열전도율이 커질수록 모서리 열손실계수도 함께 증가하며 동일 단열재에서는 단열두께가 작아질수록 그 값이 커진다.

모서리의 영향으로 인한 온도 변화영역은 벽두께의 2 ~ 3배정도 이내이다.

실내로 돌출된 형태의 내향모서리의 실내 표면온도는 실외로 돌출된 형태의 외향모서리에 비하여 실내 표면온도가 높게 나타나기 때문에 실내표면의 결로 위험성은 없다.

모서리 열손실이 난방부하에 미치는 영향정도

모서리의 열손실이 실제 난방부하에 미치는 영향정도를 알아보기 위해 비교적 단열상태가 양호한 단독주택(25평형, 35평형)과 공동주택(24평형, 33평형)을 대상으로 최대부하를 계산해 본 결과 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

첫째, 모서리의 열손실을 고려하지 않은 부하량 보다 이를 고려한 부하량은 개략 20 ~ 26 %정도 많은 것으로 나타났으며, 특히 지면과 접하는 부위와 천장 모서리가 있는 단독주택이 공동주택에 비하여 부하량 차이가 크게 나타났다.

둘째, 단독주택의 경우 모서리의 열손실이 가장 큰 취약 부위는 외벽과 천장이 만나는 부위로 전체모서리 손실열량의 50 ~ 58 %정도를 차지하고 그 다음은 외벽과 바닥이 만나는 부위로 27 ~ 36 %정도 그리고 외벽과 외벽이 만나는 모서리부위가 7 ~ 23 % 정도이다.

셋째, 단독주택의 경우 바닥면적당 모서리 길이가 긴 소형주택에서의 부하량 차이가 크게 나타나고 있으며 외단열이나 중단열에 비하여 내단열일 경우 모서리로 인한 부하량 차이가 많이 감소되고 있다. 이는 벽과 천장 그리고 벽과 바닥에서 단열이 끊어지지 않는 내단열 구조가 최대 부하측면에서는 가장 유리하다는 것을 보여주고 있다.

넷째, 공동주택은 단독주택에 비하여 모서리 부위별 부하량이 전체모서리 열손실량에 차지하는 비율이 벽-천장 모서리부위가 40 ~ 50 %, 벽-바닥 26 ~ 34 %, 그리고 벽과 벽은 22 ~ 27 % 정도로 단독주택에 비하여 모서리 부위별 비율 차이가 크지 않은 것으로 나타나고 있다.

다섯째, 공동주택의 경우 세대간을 구분하는 바닥 슬래브가 발코니까지 돌출 되고 여기에 외벽이 접합되는 부위에서 구조적으로 단열이 끊기는 취약한 단열결함이 발생되고 있음을 알 수 있다.